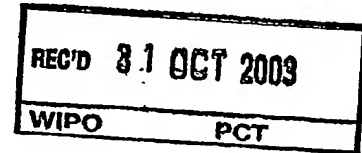


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

24.10.03

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 51 787.8

Anmeldetag:

5. November 2002

Anmelder/Inhaber:

Philips Intellectual Property & Standards GmbH,
Hamburg/DE

(vormals: Philips Corporate Intellectual Property GmbH)

Bezeichnung:

Verfahren, Vorrichtung und Computerprogramm zur
Erfassung von Punktkorrespondenzen in Punktmen-
gen

IPC:

G 06 K 9/52

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüng-
lichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 26. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

2003

ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren, Vorrichtung und Computerprogramm zur Erfassung von
Punktkorrespondenzen in Punktmengen ✓

- Verfahren, Vorrichtung und Computerprogramm zur Erfassung von
- 5 Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten
Punktmenge, insbesondere zur Fingerabdruckverifikation. Es werden markante Punkte
in Fingerabdrucklinien eines abgetasteten Fingerabdrucks mit entsprechenden
markanten Punkten von Fingerabdrucklinien eines Referenzfingerabdrucks verglichen
und es werden Zuordnungspaare aus möglichen korrespondierenden markanten Punkten
10 in dem abgetasteten Fingerabdruck und in dem Referenzfingerabdruck gebildet. Ferner
wird eine maximale Anzahl von solchen Zuordnungspaaren ermittelt. Dadurch wird ein
effizientes Verfahren beispielsweise zur Fingerabdruckverifikation angegeben, das
wenig Arbeitsspeicher und Rechenleistung erfordert.

15

(Figur 2)

20

BEST AVAILABLE COPY

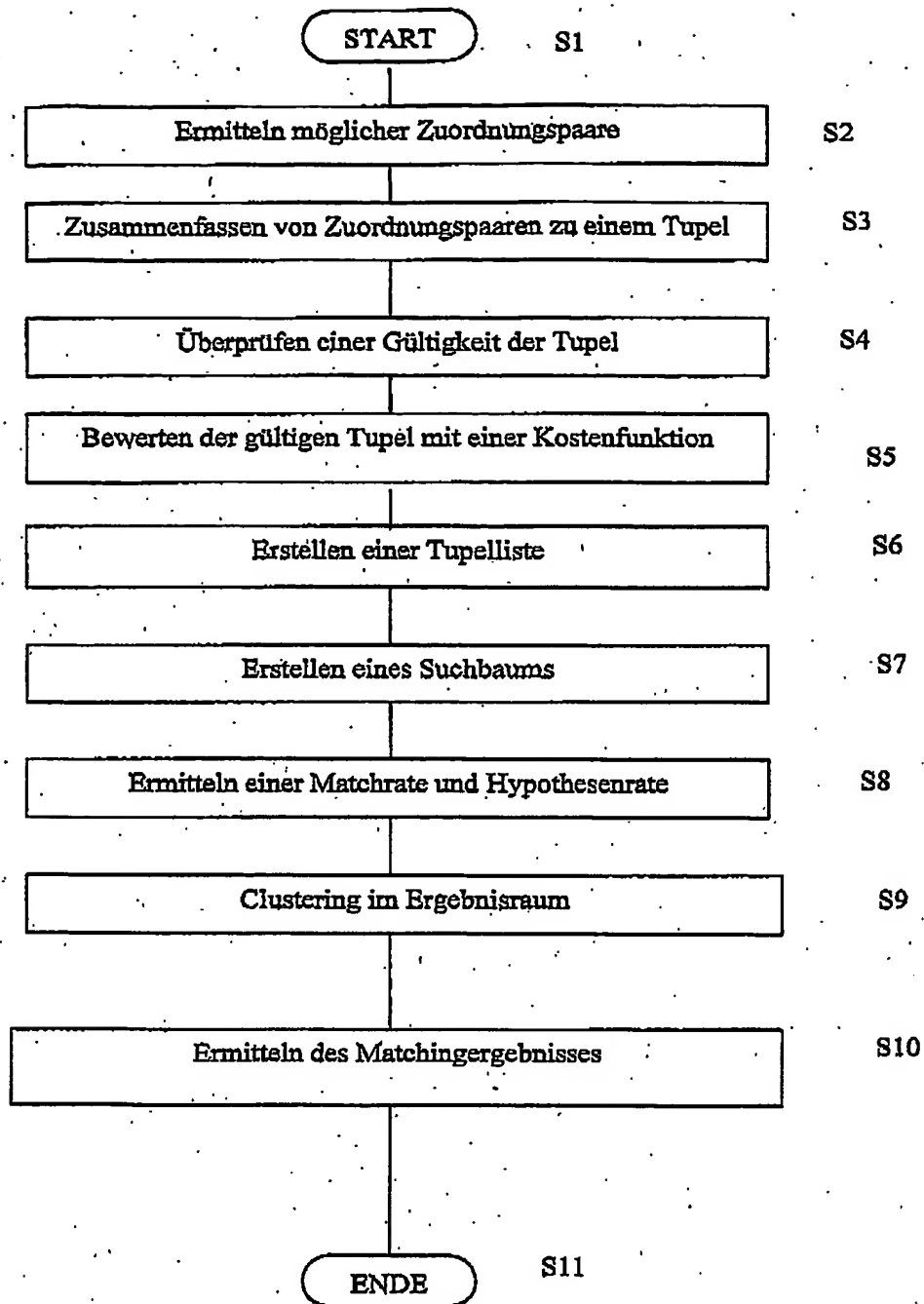


Fig. 2

BEST AVAILABLE COPY

BESCHREIBUNG

Verfahren, Vorrichtung und Computerprogramm zur Erfassung von
Punktkorrespondenzen in Punktmengen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erfassung
5 von Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten
Punktmenge. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein Computerprogramm für
eine Fingerabdruckverifikationseinrichtung, wobei Punktkorrespondenzen zwischen
einer ersten Punktmenge und einer zweiten Punktmenge erfasst werden.

10 Solche Verfahren werden häufig in der biometrischen Erkennung, wie beispielsweise
bei der Fingerabdruckverifikation verwendet. Die biometrische Erkennung hat in den
letzten Jahren auf dem technischen Sektor, der sowohl die Sensoren als auch die Aus-
wertung betrifft, große Fortschritte gemacht. Eine Überprüfung einer Identität einer
Person durch Auswertung körpereigener, d.h. biometrischer Merkmale von Personen,
15 geschieht insbesondere häufig anhand von Fingerabdrücken. Fingerabdrücke werden
auch häufig als Fingerprints bezeichnet.

Beispielsweise soll eine Erkennung von Fingerabdrücken einen Zugang von Personen in
Sicherheitsbereiche sicherer aber auch einfacher gestalten. Einfacher werden solche
20 Systeme für den Anwender dadurch, dass das Mitführen von "Schlüsseln", sei es in
konkreter physikalischer Form oder in Form einer PIN nicht mehr nötig ist. Ebenfalls
wird durch die zusätzliche Nutzung von biometrischen Merkmalen die Sicherheit
signifikant erhöht, da ein Diebstahl beispielsweise eines Fingerabdrucks kaum oder nur
schwer möglich ist und auch eine Kopie nur sehr schwer zu erstellen ist.

25 Um eine Person zu identifizieren, werden charakterisierende Merkmale dieser Person
gespeichert (Referenzdatensatz) und bei einem Zugangswunsch mit den vorliegenden,
beispielsweise abgetasteten Daten verglichen. Bei der Identifizierung über Fingerprints

BEST AVAILABLE COPY

werden üblicherweise markante Punkte von Fingerabdrucklinien, sogenannte Minutien, für die Verifikation verwendet. Den Minutien können neben der Lokalisation auch noch weitere Eigenschaften wie beispielsweise eine Richtung, ein Typ oder die entsprechende Sicherheit zugeordnet werden.

5

Minutien können als attributierte Punkte in einem zweidimensionalen Raum aufgefasst werden. Damit stellt sich die Aufgabe der Verifikation als eine Prüfung der Übereinstimmung (matching) von zwei attribuierten Punktmengen dar. Zu beachten sind dabei beispielsweise mögliche Translationen, Rotationen, Skalierungen als auch

10 Auslassungen oder Hinzufügungen von Minutien in den zwei Punktmengen.

Solche Verfahren werden heute üblicherweise auf Computern ausgeführt. Um eine hohe Sicherheit zu gewährleisten, ist jedoch eine große Anzahl von Minutien erforderlich, welche eine große Komplexität der Zuordnung von einer Minutie in dem Referenz-

15 muster zu einer entsprechenden Minutie in dem abgetasteten Muster mit sich bringt. Insbesondere benötigen solche Systeme eine sehr große Rechen- und Speicherleistung, da üblicherweise alle möglichen Kombinationen von Minutienzuordnungen initialisiert und bewertet werden.

20 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine effiziente Erfassung von Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten Punktmenge zur Verfügung zu stellen, die eine geringe Rechen- und Speicherleistung erfordert.

25 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Erfassung von Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten Punktmenge gelöst, in dem mögliche Zuordnungspaare mit einem Punkt aus der ersten Punktmenge und einem Punkt aus der zweiten Punktmenge ermittelt werden und eine maximale Anzahl von Zuordnungspaaren ermittelt wird.

30

BEST AVAILABLE COPY

Gemäß der vorliegenden Erfindung werden mögliche Zuordnungspaare aus den Punktmengen, beispielsweise bei einer Fingerabdruckverifikation Zuordnungspaare von den Minutien von dem Referenzfingerabdruck und dem abgetasteten Fingerabdruck gebildet. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird versucht, eine möglichst maximale Anzahl von Zuordnungspaaren zu ermitteln. Vorteilhaft minimiert das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung die Komplexität der Zuordnung und damit eine Anzahl von auszuführenden Rechenschritten bei Ausführung auf einem Rechner und eine notwendige Speicherkapazität. Besonders vorteilhaft ermöglicht damit die vorliegende Erfindung eine mobile Fingerabdruckverifikation, beispielsweise in einer mobilen, das heißt tragbaren Fingerabdruckverifikationseinrichtung, die nur begrenzte Speicher- und Rechenmittel zur Verfügung hat. Außerdem kann in dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ein zur Verfügung stehender Arbeitsspeicher auf einen vorgegebenen Wert begrenzt werden, ohne die prinzipielle Funktionsfähigkeit des Verfahrens einzuschränken.

Auch ist das erfindungsgemäße Verfahren sehr universell einsetzbar und kann überall dort eingesetzt werden, wo zwei verschiedene, attributierte Punktmengen (feature points) abbildungsinvariant auf Übereinstimmung untersucht bzw. einander zugeordnet werden müssen (matching). Mögliche Anwendungsgebiete sind zum Beispiel, aber nicht ausschließlich, Verifikation und Klassifikation von Fingerabdrücken unter Verwendung von Minutien, eine Analyse von Punktkorrespondenzen zur Schätzung von Kameraparametern, eine Analyse von Punktkorrespondenzen zur Positions- und Lageregistrierung von Bildern, eine Passpunktzuordnung zur Georeferenzierung und Geocodierung von Fernerkundungsdaten oder eine Analyse von Punktkorrespondenzen in 3D zur Positions- und Lageregistrierung von dreidimensionalen Objekten.

Anspruch 2 beschreibt eine bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens nach Anspruch 1, wobei jeweils zwei Zuordnungspaare zu Tupeln zusammengefasst werden, eine Tupelliste erstellt wird und ein Suchbaum auf der Grundlage der Tupelliste erstellt wird. Ferner wird eine affine Abbildung für jeden Tupel ermittelt, die die zwei Punkte jedes

BEST AVAILABLE COPY

Zuordnungspaars des Tupels aufeinander abbildet. Die Zusammenfassung zu Tupeln, die Einordnung von Tupeln in einer Tupelliste und die Erstellung eines Suchbaums auf der Grundlage der Tupelliste ermöglichen eine sehr schnelle und effiziente Ermittlung einer maximalen Anzahl von Zuordnungspaaren, ohne dass sich eine Arbeitsspeicherbegrenzung nachteilig auf die prinzipielle Funktionsfähigkeit des Verfahrens auswirken würde.

Bei der vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung nach Anspruch 3 wird zur Einordnung der Vielzahl von Tupel in die Tupelliste eine Gültigkeit von Tupeln überprüft und gültige Tupel werden bezüglich ihrer "Kosten" bewertet. Insbesondere ermöglicht diese vorteilhafte Ausgestaltung ein frühes Aussortieren von ungültigen Tupeln. Mittels der Kostenbewertung wird eine einfache Bewertung der Güte der gültigen Tupel zur Verfügung gestellt. Damit wird ein benötigter Arbeitsspeicher und eine benötigte Rechenzeit im Vergleich zu bekannten Verfahren signifikant verringert.

Gemäß der vorteilhaften Ausgestaltung nach Anspruch 4 wird ein Matchingergebnis auf der Grundlage eines Clusterings berechnet. Dies ermöglicht eine besonders einfache, effiziente Berechnung des Matchingergebnisses.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung nach Anspruch 5 wird ein Fingerabdruckverifikationsverfahren angegeben, dessen Leistung nicht durch eine Arbeitsspeicherbeschränkung eingeschränkt wird und somit auch zum mobilen, d.h. beispielsweise tragbaren Fingerabdruckverifikation geeignet ist.

Gemäß weiteren Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung mit den Merkmalen der Ansprüche 6, 7, 8 oder 9 wird eine Vorrichtung angegeben, die vorteilhaft mit geringem Arbeitsspeicher und beschränkter Rechenleistung eine sehr effiziente Erfassung von Punktkorrespondenzen in zwei Punktmengen ermöglicht. Insbesondere gemäß der Ausgestaltung nach Anspruch 9 wird in vorteilhafter Art und Weise eine Fingerabdruckverifikationseinrichtung angegeben, die beispielsweise mobil, d.h. tragbar sein

BEST AVAILABLE COPY

kann, und beispielsweise auf einer Chipkarte, in einem Handy, PDA oder einer ähnlichen mobilen Computereinrichtung untergebracht werden kann.

Ein Grundgedanke der vorliegenden Erfindung kann beispielsweise darin liegen, dass
5 Zuordnungspaare in Tupeln zusammengefasst werden, eine Gültigkeit von Tupeln überprüft wird und die gültigen Tupeln mit Kosten bewertet werden.

Weitere Vorteile und Aspekte der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden mit Verweis auf die Ausführungsbeispiele offenbart, die anhand der folgenden Figuren
10 näher erläutert werden.

Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung zur Erfassung von Punktkorrespondenzen, beispielsweise für eine Fingerabdruckverifikation gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

15 Fig. 2 zeigt ein Verfahren zur Erfassung von Punktkorrespondenzen gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zur Ausführung beispielsweise auf der Vorrichtung von Fig. 1;

20 Fig. 3 zeigt zwei Minutenpaare zur Erläuterung der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 zeigt zwei Minutenpaare zur Erläuterung der vorliegenden Erfindung.

Im Folgenden wird mit Verweis auf Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung
25 zur Erfassung von Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten Punktmenge gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die in Fig. 1 mit der Bezugsziffer 1 versehene Vorrichtung ist eine Fingerabdruckverifikationsvorrichtung. Beispielsweise kann solch eine Fingerabdruckverifikationseinrichtung 1 mittels eines tragbaren Handheld-Computers oder PDAs oder einem Notebook realisiert
30 werden. Die Fingerabdruckverifikationseinrichtung 1 in Fig. 1 umfasst ein Display 2

BEST AVAILABLE COPY

mit einem Tastbereich 3, der zum Abtasten eines Fingerabdrucks eines Fingers, beispielsweise eines Daumenabdrucks einer Person geeignet ist. Ferner umfasst die Fingerabdruckverifikationsvorrichtung 1 ein Bedienfeld 4 mit einer Vielzahl von Tasten 5, mit denen eine Funktion der Fingerabdruckverifikation steuerbar ist. Ferner umfasst die Fingerabdruckverifikationseinrichtung 1 eine Prozessoreinrichtung, wie beispielsweise eine CPU und einen Arbeitsspeicher sowie einen Energiespeicher oder einen Akku, um einen netzunabhängigen Betrieb der Fingerabdruckverifikationseinrichtung zu ermöglichen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit der Fig. 1 sind die Prozessoreinrichtung, der Arbeitsspeicher und die Energiespeichereinrichtung nicht dargestellt. In der in der Fig. 1 gezeigten Fingerabdruckverifikationseinrichtung ist in einem unteren Bereich 6 eine Gehäuseabdeckung abgenommen, so dass weitere Einrichtungen der Fingerabdruckverifikationsvorrichtung 1 die im Inneren liegen, erkennbar sind. So umfasst die Fingerabdruckverifikationseinrichtung 1 eine Einrichtung 7 zum Ermitteln möglicher Zuordnungspaare, eine Einrichtung 8 zum Zusammenfassen von Zuordnungspaaren zu einem Tupel, eine Einrichtung 9 zum Überprüfen einer Gültigkeit der Tupel, eine Einrichtung 10 zum Bewerten der gültigen Tupel mit einer Kostenfunktion, eine Einrichtung 11 zum Erstellen einer Tupelliste, eine Einrichtung 12 zum Erstellen eines Suchbaums, eine Einrichtung 13 zum Ermitteln einer Matchrate, eine Einrichtung 14 zum Bilden eines Ergebnisraumes, eine Einrichtung 15 zum Ermitteln eines Punktes, eine Einrichtung 16 zum Bilden eines Clusters und eine Einrichtung 17 zum Ermitteln des Matchingergebnisses. Die Bezugsziffer 18 bezeichnet eine Einrichtung zum Ermitteln einer affinen Abbildung für jeden Tupel die die zwei Punkte jedes Zuordnungspaars des Tupels aufeinander abbildet. Insbesondere sind die Einrichtungen 7 bis 18 in der nicht dargestellten Prozessoreinrichtung realisiert. Jedoch ist es auch möglich, die einzelnen Einrichtungen 7 bis 18 mittels geeignet programmierten EPLDs auszugestalten, wie beispielsweise den EPLDs der Firma Altera. Auch können die Einrichtungen 7 bis 18 mit entsprechenden Softwaremodulen realisiert werden.

In der in Fig. 1 dargestellten Fingerabdruckverifikationseinrichtung 1 werden nach einem Scannen eines Fingerabdrucks auf dem Feld 3 insbesondere folgende drei Schritte mittels der Einrichtungen 7 bis 17 ausgeführt.

- 5 In einem ersten Schritt wird nach gültigen Paaren von korrespondierenden Minutien zwischen dem Testmuster, nämlich dem abgetasteten Fingerabdruck und einem Referenzmuster, das in einem Speicher in der Fingerabdruckverifikationseinrichtung 1 gespeichert ist, gesucht. In anderen Worten, werden sich entsprechende Minutien aus dem Referenzmuster und dem Testmuster zu Paaren zusammengefasst.
- 10 In einem zweiten Schritt werden diese Paare zu Tupeln zusammengefasst. Ein Tupel besteht aus vier Minutien, wobei jeweils zwei Minutien aus dem Testmuster stammen und zwei Minutien aus dem Referenzmuster. Die Verwendung von Tupeln aus vier Minutien ermöglicht vorteilhaft eine Verwendung einer Kostenfunktion, die die Güte
- 15 eines jeden Tupels bewertet. Gleichzeitig kann dann für jedes Tupel eine zugehörige affine Abbildung berechnet werden, die die zwei Minutien des Testmusters auf ihre möglichen Korrespondenzen im Referenzmuster abbildet. In der in Fig. 1 dargestellten Fingerabdruckverifikationseinrichtung 1 wird diese affine Abbildung in der Einrichtung 18 berechnet. Dies wird im Folgenden mit Verweis auf die Fig. 3 und 4 weiter beschrieben werden. Die gefundenen Tupel werden dann nach den Kosten aufsteigend sortiert
- 20 und weiterverarbeitet.
- In einem dritten Schritt werden die nach den Kosten aufsteigend sortierten Tupel mittels eines Suchbaumes kombiniert und daraus ein Matchingergebnis abgeleitet. Ziel ist es,
- 25 möglichst viele, zueinander konsistente Tupel mit einem Maximum an unterschiedlichen Paaren von korrespondierenden Minutien zu finden, was mit dem folgenden Verfahren realisiert wird.
- Im Folgenden wird mit Verweis auf die Fig. 2 ein Verfahren gemäß einer Ausführungs-
- 30 form der vorliegenden Erfindung beschreiben, das beispielsweise in der in Fig. 1 gezeigten Fingerabdruckverifikationsvorrichtung 1 ausgeführt werden kann.

Nach dem Start in Schritt S1 geht das Verfahren zu Schritt S2, in dem mögliche Zuordnungspaare mit einem Punkt aus der ersten Punktmenge, nämlich dem Testmuster und einem Punkt aus der zweiten Punktmenge, nämlich dem Referenzmuster ermittelt werden. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dieser Schritt mittels der
5 Einrichtung 7 ausgeführt.

Nach Schritt S2 geht das Verfahren weiter zu den folgenden Schritten S3 bis S7, in denen eine maximale Anzahl von Zuordnungspaaren ermittelt wird.

10 In Schritt S3 werden jeweils zwei Zuordnungspaare zu einem Tupel zur Bildung einer Vielzahl von Tupeln zusammengefasst. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dieser Schritt mittels der Einrichtung 8 ausgeführt.

Dann, in dem folgenden Schritt S4 werden gültige Tupel der Vielzahl von Tupeln durch
15 Überprüfung der Vielzahl von Tupeln auf Gültigkeit identifiziert. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dieser Schritt mittels der Einrichtung 9 ausgeführt.

Für jedes Tupel wird eine zugehörige affine Abbildung berechnet, die die zwei Minutien des Testmusters auf ihre möglichen Korrespondenzen im Referenzmuster abbildet.
20

Im folgenden Schritt S5 werden die gültigen Tupel mit einer Kostenfunktion zur Ermittlung von Kosten der gültigen Tupel bewertet. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dieser Schritt mittels der Einrichtung 10 ausgeführt.

25 Im folgenden Schritt S6 werden die gültigen Tupel in eine Tupelliste einsortiert, wobei die gültigen Tupel nach aufsteigenden Kosten sortiert in die Tupelliste einsortiert werden. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dieser Schritt mittels der Einrichtung 11 ausgeführt. Dann geht das Verfahren weiter zu Schritt S7, in dem ein Suchbaum auf der Grundlage der Tupelliste erstellt wird. In der in Fig. 1 gezeigten
30 Vorrichtung wird dieser Schritt mittels der Einrichtung 12 ausgeführt.

In dem folgenden Schritt S8 wird dann eine Matchrate und eine Hypothesenrate ermittelt. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dies mittels der Einrichtung 13 ausgeführt. Dann geht das Verfahren weiter zu Schritt S9, in dem ein zweidimensionaler Ergebnisraum gebildet wird, wobei entlang einer ersten Dimension die Matchrate angetragen wird und entlang der zweiten Dimension die Hypothesenrate und somit ein entsprechender Punkt im Ergebnisraum bestimmt wird. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dies mit der Vorrichtung 14 ausgeführt. Dann wird ein Clustering im Ergebnisraum durchgeführt, beispielsweise durch eine Trennlinie. In der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung wird dies mit der Einrichtung 16 ausgeführt.

10

In dem folgenden Schritt S10 wird ein Matchingergebnis auf der Grundlage eines Abstandes des Punktes von der Trennlinie ermittelt. Dabei wird das Matchingergebnis aus dem vorzeichenbehafteten und auf den Wertebereich von 0 bis 1 transformierten Abstand des Punktes im Ergebnisraum zu der Trennlinie gebildet. Dieser Schritt wird in der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung mit der Einrichtung 17 ausgeführt. Dann geht das Verfahren weiter zu Schritt S11, in dem es endet.

15

Im Folgenden wird nun das in dem Flussdiagramm von Fig. 2 gezeigte Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung weiter beschrieben. Dabei ist die Beschreibung in vier Absätze gegliedert, nämlich in die Bildung der Minutienpaare, das Erstellen der Tupelliste, das suchbaumbasierte Matching und das Ergebnis des Matchings. Diese Gliederung dient der Übersichtlichkeit und ist keinesfalls einschränkend zu verstehen.

20

Bildung der Minutien

25

Wie schon mit Verweis auf Schritt S2 angedeutet, werden mögliche Zuordnungen von Minutien (Minutienpaare) aus den beiden Mustern (Testmuster und Referenzmuster) ermittelt. Dazu wird jede Minutie des Testmusters mit jeder Minutie des Referenzmusters verglichen. Um ein gültiges Minutienpaar zu erhalten, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

30

- Translation \Leftarrow max. Translation,
- Differenz der Minutienrichtungen \Leftarrow max. Rotation + max. Differenz der Minutienrichtungen,
- 5 - Minutientyp muss identisch sein.

Die maximale Translation und die maximale Rotation sind anwendungsbedingte Vorgaben der maximal zugelassenen Translation bzw. Rotation. Die maximale Differenz der Minutienrichtung ist ein Schwellwert (Toleranzwert), unterhalb dessen zwei Minu-

10 tien anhand ihrer Richtung noch als mögliche Korrespondenzen angesehen werden können/sollen. Minutientypen sind beispielsweise Endungen, Gabelungen, Core oder Delta.

Da alle zuvor zusammengefassten Minutienpaare hypothetische Zuordnungen zwischen

15 Minutien des Testmusters zu Minutien des Referenzmusters sind, müssen mittels dieser drei Bedingungen Minutienzuordnungen bestätigt oder verworfen werden, d.h. gültige Minutien von ungültigen Minutien getrennt werden. Die Minutien des Testmusters werden im Folgenden mit kleinen Buchstaben abgekürzt (a, b, c,.....); die Minutien des Referenzmusters mit Großbuchstaben (A, B, C). Minutienpaare werden folglich

20 folgendermaßen abgekürzt: (aA, aC, Ba, Cd.....), wobei Minutien einem Muster in verschiedenen Paaren auftreten können.

Erstellen der Tupelliste

- 25 Wie zuvor schon mit Verweis auf Schritt S3 angedeutet worden ist, werden die gültigen Minutienpaare zu Tupeln bestehend, aus jeweils zwei verschiedenen Minutienpaaren zusammengefasst. Hierbei wird zur Sicherung von einer konsistenten Zuordnung eine Minutie eines Musters nur einmal pro Tupel verwendet. Somit besteht ein Tupel aus vier verschiedenen Minutien. Ein Beispiel für ein Tupel ist (aA|bB).

30

Da gemäß der vorliegenden Erfindung vier Minutien zu einem Tupel zusammengefasst werden, ist es möglich, eine Kostenfunktion aufzustellen, die eine Aussage über die Qualität des Tupels darstellt. Weiterhin kann damit für jedes Tupel eine zugehörige affine Abbildung berechnet werden, die die zwei Minutien des Testmusters auf ihre
5 möglichen korrespondierenden Minutien im Referenzmuster abbildet. Die Abbildungsparameter werden zu jedem Tupel als Attribut hinzugefügt.

Fig. 3 zeigt zwei Minutienpaare, d.h. einen möglichen Tupel (aA|bB). Mit Kreuzen sind in Fig. 3 die Minutien des Testmusters dargestellt und mit Kreisen die Minutien des
10 Referenzmusters. Zudem sind die Minutienrichtungen (Tangentenrichtungen der Fingerabdrucklinien an den Minutien) mit Pfeilen eingezeichnet.

Für die affine Abbildung wird die Translation t berechnet, die in Fig. 3 dargestellt ist. Die Minutien des Testmusters a, b werden in Richtung von t verschoben, so dass die
15 Mittelpunkte der Verbindungslinien der Minutien beider Muster gemäß Fig. 2 aufeinander liegen. Weiterhin werden die zwei Minutien a, b des Testmusters um den Mittelpunkt der Verbindungslinie um den Winkel, der in Fig. 3 mit "rot" dargestellt ist, rotiert, wobei $\text{rot} < 180^\circ$ ist.

20 Damit ist die gedrehte Verbindungslinie in Richtung der Verbindungslinie der beiden Minutien des Referenzmusters ausgerichtet. Die Minutienrichtungen werden entsprechend mitrotiert.

Die Skalierung der affinen Abbildung berechnet sich dann, wie Fig. 4 zu entnehmen ist,
25 aus dem Längenverhältnis S/s der beiden Verbindungslinien. Die vier Minutien beider Muster liegen dann nach Anwendung der affinen Abbildungsparameter übereinander und die Parameter der affinen Abbildung sind bekannt. Da nun die Abbildungsparameter der affinen Abbildung bekannt sind, kann ein jedes Tupel auf seine Gültigkeit getestet werden. Für ein gültiges Tupel müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

30

- Translation $t \leq \text{max. Translation}$
- Rotation $\text{rot} \leq \text{max. Rotation}$
- $|1\text{-Skalierung}| = |1-S/s| \leq \text{max. Skalierung}$
- Differenz der Minutenrichtung $\leq \text{max. Differenz der Minutenrichtung}$
- 5 - Differenz der Rillenzahl zwischen den Minutenpaaren $\leq \text{max. Differenz der Rillenzahl}$

Die max. Rotation, max. Translation und max. Differenz der Minutenrichtungen sind wie zuvor schon angegeben anwendungsbedingte, voreinstellbare Vorgaben betreffend

10 die maximale Rotation, die maximale Translation und die maximale Differenz der Minutenrichtungen. Die max. Skalierung ist die anwendungsbedingte Vorgabe der maximal zugelassenen Skalierung. Die Rillenzahl entspricht der Anzahl der Fingerabdrucklinien (Rillen) zwischen den betrachteten Minuten und die max. Differenz der Rillenzahl ist die anwendungsbedingte Vorgabe der maximal zugelassenen Differenz

15 der Rillenzahl.

Die Tupel, die diese Bedingungen erfüllen, sind gültige Tupel. Alle gültigen Tupel werden nun mit einer Kostenfunktion bewertet. Die Kostenfunktion berechnet sich wie folgt:

20

Kosten = $\alpha * \text{Translation } t / \text{max. Translation} + \beta * \text{Rotation rot} / \text{max. Rotation} + \gamma * |1\text{-Skalierung}| / \text{max. Skalierung} + \delta * \text{Diff. der Minutenrichtungen} / \text{max. Diff. der Minutenrichtung}$

25 Alpha, beta, gamma, delta sind vom Anwender voreinstellbare Gewichtungsfaktoren.

Als Nebenbedingung gilt für die Faktoren:

- $0 \leq \alpha, \beta, \gamma, \delta \leq 1$
- 30 - $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$

Entsprechend der berechneten Kosten werden dann die gültigen Tupel aufsteigend nach Kosten sortiert in eine Liste eingefügt, deren Länge auf N Tupel begrenzt ist. Diese Liste wird auch als Tupelliste bezeichnet.

5

Suchbaumbasiertes Matching

- Der Ausgangspunkt für den Aufbau eines Suchbaums ist die aufsteigend nach Kosten sortierte Tupelliste der maximalen Länge N. Der Suchbaum wird aufgebaut, indem
- 10 Tupel aus der Tupelliste als Knoten in den Baum eingefügt werden. Ein Pfad von einer Wurzel des Baums bis zu einem Blatt stellt eine mögliche Zuordnung von in den Knoten/Tupel enthaltenen Minutenpaaren dar. Die Suche hat das Ziel, die größte erreichbare Anzahl an unterschiedlichen Minutenpaaren aus untereinander konsistenten Tupeln zu finden, die dann der Anzahl der erfolgreich gematchten Minuten zwischen
- 15 dem Test- und dem Referenzmuster entspricht.

- An jedem Knoten des Baumes wird die Anzahl der unterschiedlichen Minutenpaare als Attribut gespeichert bzw. angemerkt, die in dem betrachteten Knoten/Tupel, sowie in allen vorangehenden Knoten/Tupeln enthalten sind. Als weiteres Attribut werden an
- 20 jedem Knoten die mittleren akkumulierten Kosten gespeichert. Die mittleren akkumulierten Kosten berechnen sich als arithmetisches Mittel der Kosten des betrachteten Knotens/Tupels und aller vorangegangenen Knoten/Tupel.

- Die Suche beginnt, indem das Tupel mit den geringsten Kosten in den Baum als ersten
- 25 Knoten eingeführt wird. Das ist das Tupel an der ersten Position in der Tupelliste. Der Suchbaum wird immer am Blatt mit der größten Anzahl unterschiedlicher Minutenpaare weiterentwickelt. Wenn es Blätter mit einer gleichen Anzahl unterschiedlicher Minutenpaare gibt, wird der Suchbaum am Blatt mit der größten Tiefe im Baum weiterentwickelt. Bei Blättern mit der gleichen Anzahl unterschiedlicher Minutenpaare
- 30 und der gleichen Tiefe im Baum wird der Suchbaum am Blatt mit den geringsten

mittleren akkumulierten Kosten weiterentwickelt. Zur Erweiterung des Suchbaums an einem Blatt sind zwei mögliche Positionen neuer Knoten zulässig:

- 5 - ein neuer Knoten in gleicher Tiefe als rechter Nachbar des betrachteten Blattes
oder
- ein neuer Knoten als Nachfolger des betrachteten Blattes.

10 Auf die möglichen Positionen neuer Knoten werden Tupel mit minimalen Kosten eingefügt, deren Kosten jedoch höher als die des betrachteten Blattes sind, die sich also in der Tupelliste auf nachfolgenden Positionen des Tupel des betrachteten Knotens befinden. Auf diese Weise wird gemäß der vorliegenden Erfindung vorteilhaft sichergestellt, dass keine Kombination von Tupeln mehrfach in verschiedenen Pfaden des Baumes enthalten sind, wodurch das Verfahren sehr effizient wird.

15

Für jeden Erweiterungsschritt sind folgende Kombinationen von Tupeln möglich:

- zwei neue Knoten desselben Tupels (als rechter Nachbar und als Nachfolger des betrachteten Blattes),
- 5 - zwei neue Knoten unterschiedlicher Tupel (einer als rechter Nachbar und einer mit höheren Kosten als Nachfolger des betrachteten Blattes),
- ein neuer Knoten (als rechter Nachbar des betrachteten Blattes) oder
- kein neuer Knoten.

10

Der Suchbaum wird somit nur um Knoten erweitert, deren Tupel konsistent zu allen Vorgängerknoten ist und folgende Konsistenzbedingungen erfüllt:

- der neue Knoten ist konsistent zu allen seinen Vorgängern bezüglich der in den
- 15 Tupeln enthaltenen Minutienpaaren, d.h. es werden keine Mehrfachzuordnungen von Minutien beider Muster auftreten, und
- die maximale Differenz der Abbildungsparameter der Tupel eines Pfades muss unterhalb festgelegter Grenzwerte liegen.

- 20 Wenn ein Tupel an einer zu besetzenden Position im Suchbaum aufgrund einer Verletzung der Konsistenzbedingungen nicht eingefügt werden kann, so wird mit seinem Nachfolger mit nächsthöheren Kosten aus der Tupelliste fortgefahren. Durch das Einfügen von Knoten werden die neuen Knoten zu Blättern des Baums, während das vorher betrachtete Blatt seinen Status als Blatt verliert.

25

Der Aufbau des Suchbaums wird gemäß der vorliegenden Erfindung vorteilhaft in der beschriebenen Art und Weise fortgesetzt, bis alle Tupel aus der Tupelliste verwendet worden sind, und somit keine Blätter mehr entwickelt werden können oder wenn der Suchbaum eine Begrenzung der Größe von M Knoten erreicht hat, wobei M vorein-

30 stellbar ist.

Ergebnis des Matchings

- Das Ergebnis des Matchings ergibt sich aus dem aufgestellten Suchbaum. Der Knoten mit der größten Anzahl P unterschiedlicher Minutenpaare, die in diesem Knoten sowie allen voran gegangenen Knoten (Ergebnispfad) enthalten sind, ist die bestmögliche Zuordnung der beiden Muster bezüglich der gegebenen Gültigkeits- und Konsistenzbedingungen sowie der vorgegebenen Werte für N und M . Werden N und M genügend groß gewählt, so entspricht dies einer vollständigen Suche bezüglich der Gültigkeits- und Konsistenzbedingungen.

Aus der Anzahl P der gematchten Minuten (unterschiedliche Minutenpaare) kann eine Matchingrate wie folgt berechnet werden:

- 15 $\text{Matchingrate} = P / \min. \text{Minuten beider Muster}; \text{wobei } 0 \leq \text{Matchrate} \leq 1.$

- Überdies werden alle P ermittelten Minutenpaare untereinander auf Gültigkeit überprüft, indem aus diesen für alle Kombinationen von zwei Minutenpaaren (Zuordnungen) ein Tupel gebildet und gemäß der Gültigkeitsbedingungen für Tupel auf Gültigkeit überprüft wird. Dadurch wird die Anzahl H der gültigen Tupel ermittelt, die als Hypothese für die Gültigkeit des Matchings interpretiert werden kann.

Entsprechend berechnet sich eine Hypothesenrate wie folgt:

- 25 $\text{Hypothesenrate} = (H - \min. \text{ mögliche Tupel}) / (\max. - \min. \text{ mögliche Tupel}), 0 \leq \text{Hypothesenrate} \leq 1$

wobei sich das Minimum und Maximum der möglichen Tupel berechnet zu:

max. mögliche Tupel = $P * (P - 1) / 2$

min. mögliche Tupel = $\text{ceil}(P/2)$

5

Hier ist P die Anzahl der gematchten Minuten und „ceil“ ist eine Funktion, die einen nicht ganzzahligen Wert auf die nächstgrößere ganze Zahl aufrundet.

- Das endgültige Matchingergebnis kann als Kombination der beiden Werte Matchrate und Hypothesenrate abgeleitet werden. Hierzu wird aus beiden Werten ein zweidimensionaler Ergebnisraum gebildet. Entlang einer Dimension des Ergebnisraums wird die Matchrate angetragen und entlang der zweiten Dimension des Ergebnisraums wird die Hypothesenrate angetragen. Dies ergibt einen Punkt. Das endgültige Matchingergebnis wird dann mit Hilfe eines Clusterings ermittelt. Ein einfaches Clustering des Ergebnisraums erreicht man, indem man eine Trennlinie in den Ergebnisraum legt. Dann wird das Matchingergebnis aus dem vorzeigebefahenen und auf den Wertebereich von 0 – 1 transformierten Abstand des Punktes im Ergebnisraum zur Trennlinie ermittelt.

- Wenn das Matchingergebnis über einem voreinstellbaren Schwellwert liegt, entspricht das Testmuster dem Referenzmuster, d.h. der abgetastete Fingerabdruck entspricht dem Referenzfingerabdruck.

- Aufgrund der verwendeten Suchstrategie gemäß der vorliegenden Erfindung wird ermöglicht, dass sehr schnell die beste Zuordnung der Minuten oder Merkmale gefunden wird. Durch den Aufbau der verwendeten Datenstruktur ist eine prinzipielle Funktionsfähigkeit des Verfahrens auch dann gegeben, wenn der zur Verfügung stehende Arbeitsspeicher auf einen vorgegebenen Wert begrenzt wird. Somit wird gemäß der vorliegenden Erfindung vorteilhaft der Einsatz in mobilen oder gekapselten Systemen (embedded systems) ermöglicht, die nur über wenig Rechenleistung oder über einen begrenzten Arbeitsspeicher verfügen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Erfassung von Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten Punktmenge, umfassend folgende Schritte:
 - Ermitteln von möglichen Zuordnungspaaren mit einem Punkt aus der ersten Punktmenge und einem Punkt aus der zweiten Punktmenge; und
 - 5 - Ermitteln einer maximalen Anzahl von Zuordnungspaaren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ermitteln einer maximalen Anzahl von Zuordnungspaaren folgende Schritte umfasst:
 - Zusammenfassen von jeweils zwei Zuordnungspaaren zu einem Tupel zur Bildung einer Vielzahl von Tupel;
 - 10 - Ermitteln einer affinen Abbildung für jeden Tupel die die zwei Punkte jedes Zuordnungspaares des Tupels aufeinander abbildet;
 - Einordnen der Vielzahl von Tupel in eine Tupelliste; und
 - Erstellen eines Suchbaums auf der Grundlage der Tupelliste.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Einordnen der Vielzahl von Tupel in die Tupelliste folgende Schritte umfasst:
 - Identifizieren von gültigen Tupel der Vielzahl von Tupel durch Überprüfen der Vielzahl von Tupel auf Gültigkeit;
 - 20 - Bewerten der gültigen Tupel mit einer Kostenfunktion zur Ermittlung von Kosten der gültigen Tupel;
 - Sortieren der gültigen Tupel und Einsortieren der gültigen Tupel in die Tupelliste, wobei die gültigen Tupel nach aufsteigenden Kosten sortiert in die Tupelliste einsortiert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend folgende Schritte:

- Ermitteln einer Matchrate und einer Hypothesenrate;
- Bilden eines zweidimensionalen Ergebnisraums, wobei entlang einer ersten Dimension die Matchrate angetragen ist und entlang der zweiten Dimension die Hypothesenrate, und
- Ermitteln eines Punktes in dem zweidimensionalen Ergebnisraum auf der Grundlage der Matchrate und der Hypothesenrate;
- Bilden eines Clusters im Ergebnisraum; und
- Ermitteln eines Matchingergebnisses auf der Grundlage eines Abstands des Punktes von dem Cluster.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Punkt aus der ersten Punktmenge und der Punkt aus der zweiten Punktmenge jeweils markante Punkte von Fingerabdrucklinien sind, die erste Punktmenge einem abgetasteten Fingerabdruck entspricht, die zweite Punktmenge einem Referenzfingerabdruck entspricht, die markanten Punkte der Fingerabdrucklinien in dem abgetasteten Fingerabdruck den markanten Punkten in den Referenzfingerabdruck zuordenbar sind, und das Verfahren ein Fingerabdruckverifikationsverfahren ist, in dem der abgetastete Fingerabdruck mit dem Referenzfingerabdruck verglichen wird.

6. Vorrichtung zur Erfassung von Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten Punktmenge, umfassend:

- eine Einrichtung zum Ermitteln von möglichen Zuordnungspaaren mit einem Punkt aus der ersten Punktmenge und einem Punkt aus der zweiten Punktmenge; und
- eine Einrichtung zum Ermitteln einer maximalen Anzahl von Zuordnungspaaren.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Einrichtung zum Ermitteln einer maximalen Anzahl von Zuordnungspaaren umfasst:

- 5 - eine Einrichtung zum Zusammenfassen von jeweils zwei Zuordnungspaaren zu einem Tupel zur Bildung einer Vielzahl von Tupel;
- 10 - eine Einrichtung zum Ermitteln einer affinen Abbildung für jeden Tupel die die zwei Punkte jedes Zuordnungspaars des Tupels aufeinander abbildet;
- eine Einrichtung zum Einordnen der Vielzahl von Tupel in eine Tupelliste; und
- eine Einrichtung zum Erstellen eines Suchbaums auf der Grundlage der Tupelliste.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Einrichtung zum Einordnen der Vielzahl von Tupel in eine Tupelliste umfasst:

- eine Einrichtung zum Identifizieren von gültigen Tupel der Vielzahl von Tupel durch Überprüfen der Vielzahl von Tupel auf Gültigkeit;
- 20 - eine Einrichtung zum Bewerten der gültigen Tupel mit einer Kostenfunktion zur Ermittlung von Kosten der gültigen Tupel; und
- eine Einrichtung zum Sortieren der gültigen Tupel und Einsortieren der gültigen Tupel in die Tupelliste, wobei die gültigen Tupel nach aufsteigenden Kosten sortiert in die Tupelliste einsortiert werden.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei der Punkt aus der ersten Punktmenge und der Punkt aus der zweiten Punktmenge jeweils markante Punkte von Fingerabdrucklinien sind, die erste Punktmenge einem abgetasteten Fingerabdruck entspricht, die zweite Punktmenge einem Referenzfingerabdruck entspricht, die markanten Punkte der Fingerabdrucklinien in dem abgetasteten Fingerabdruck den markanten Punkten in den Referenzfingerabdruck zuordenbar sind, und die Vorrichtung eine mobile Fingerabdruckverifikationsvorrichtung ist, in der der abgetastete Fingerabdruck mit dem Referenzfingerabdruck verglichen wird.
10. Computerprogramm für eine Fingerabdruckverifikationseinrichtung, wobei Punktkorrespondenzen zwischen einer ersten Punktmenge und einer zweiten Punktmenge erfasst werden und wobei das Computerprogramm ausgebildet ist, folgende Schritte auszuführen:
- Ermitteln von möglichen Zuordnungspaaren mit einem Punkt aus der ersten Punktmenge und einem Punkt aus der zweiten Punktmenge; und
 - Ermitteln einer maximalen Anzahl von Zuordnungspaaren.

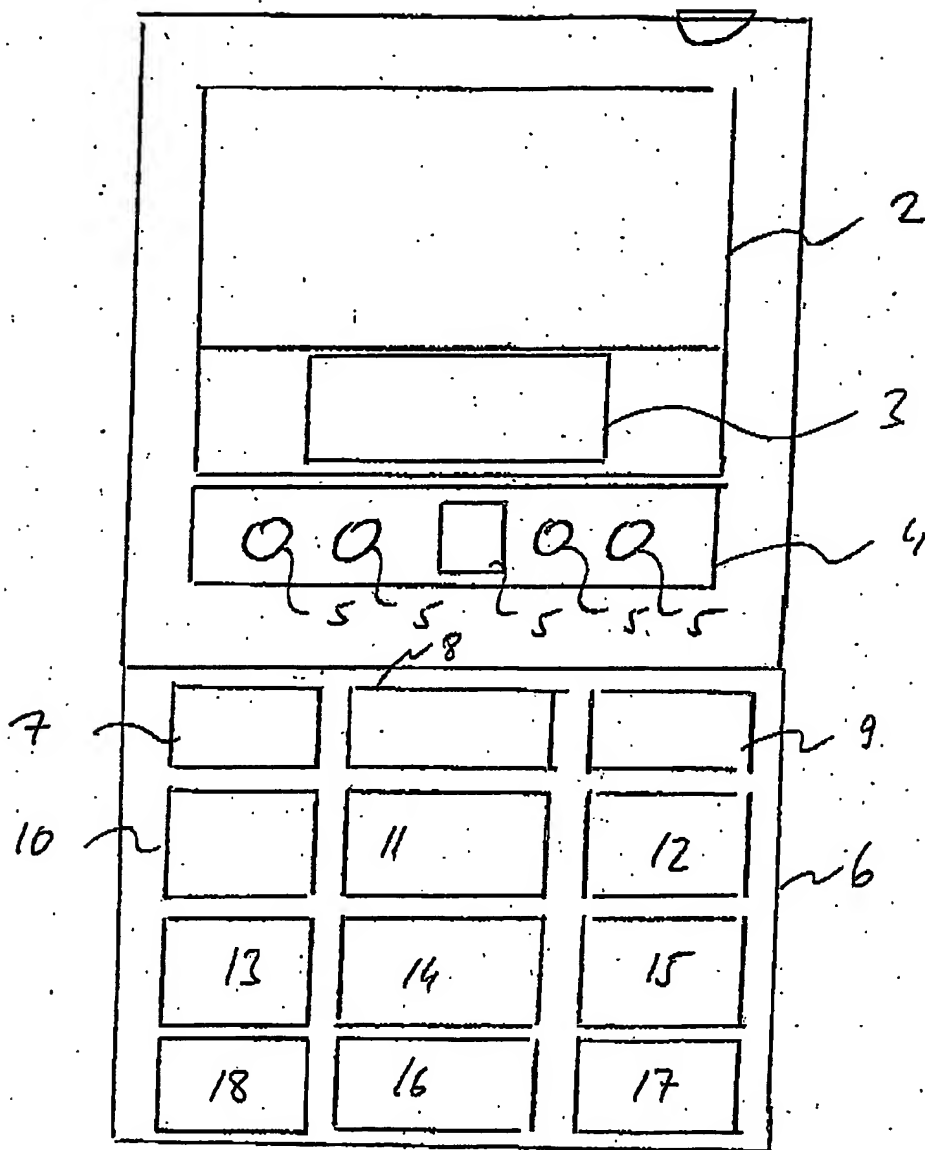


Fig. 1

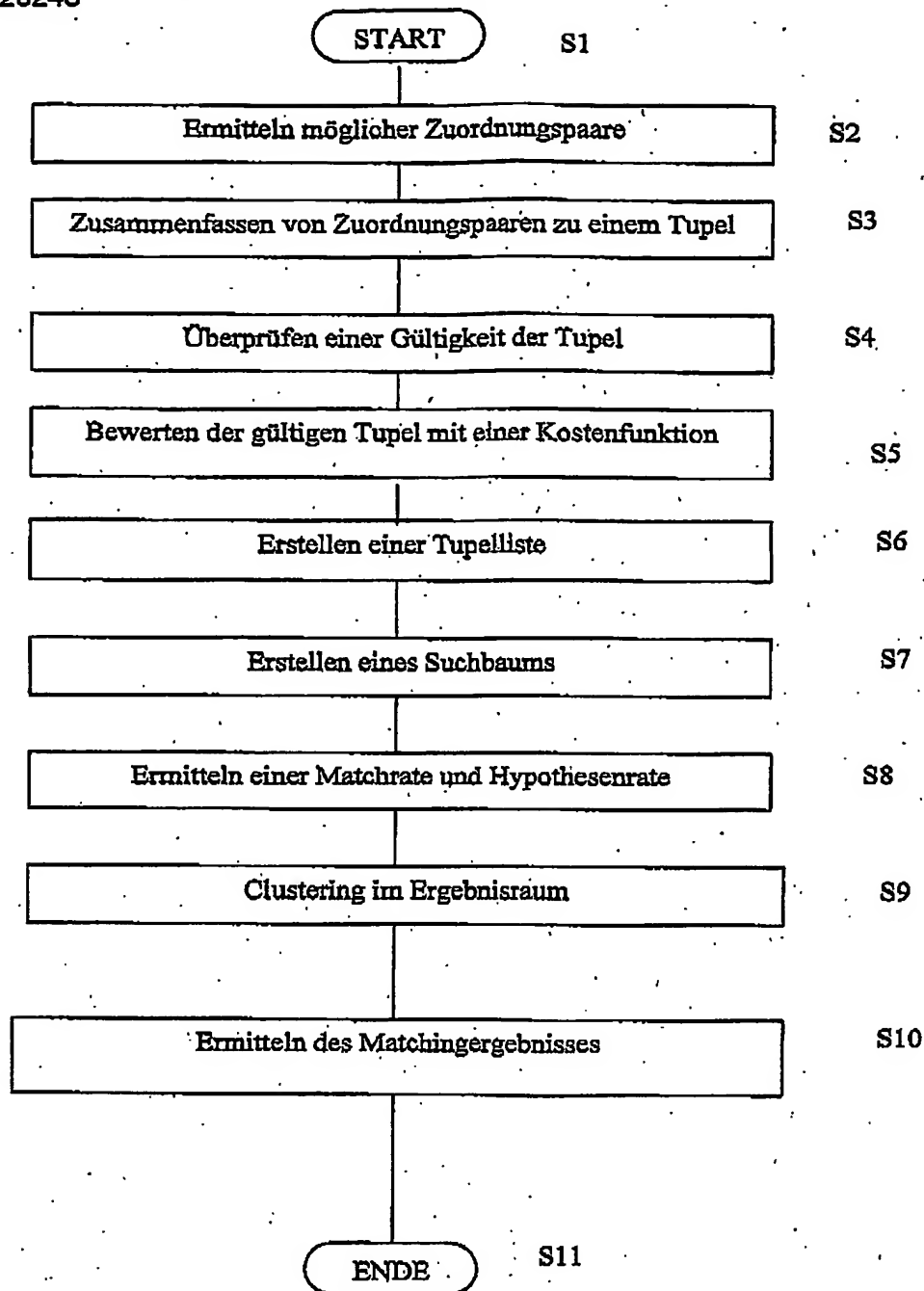


Fig. 2

*

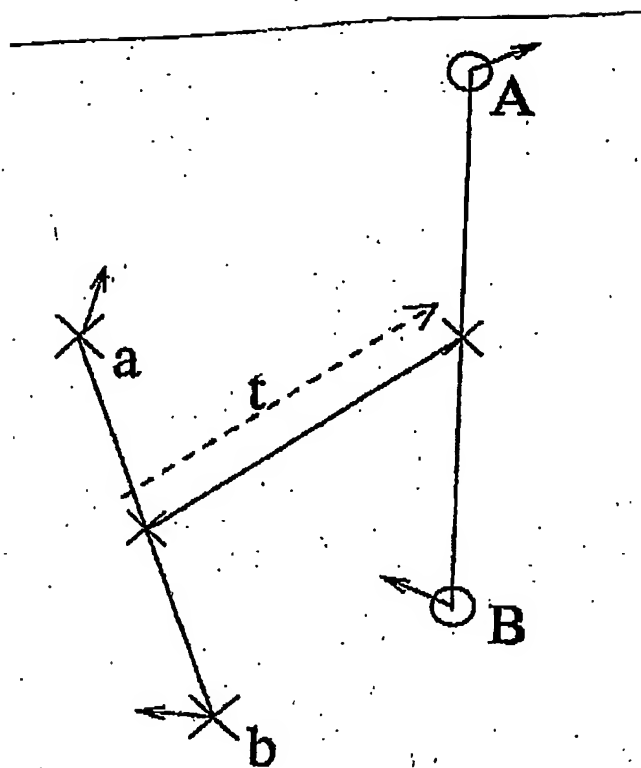


Fig. 3

PHDE020245

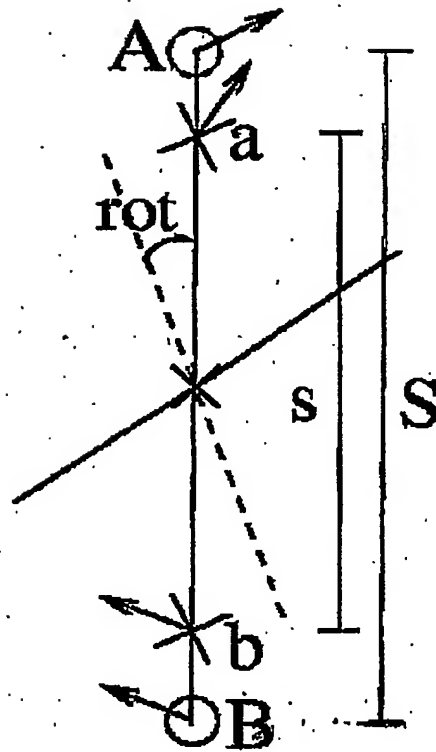


Fig. 4